

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-332939

(43) 公開日 平成10年(1998)12月18日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

G 0 2 B 6/00

G 0 2 B 6/00

C

6/28

6/28

H 0 4 B 10/152

H 0 4 B 9/00

L

10/142

10/04

審査請求 有 請求項の数24 O L (全 11 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願平9-138985

(22) 出願日

平成9年(1997)5月28日

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 矢野 隆

東京都港区芝五丁目7番1号日本電気株式

会社内

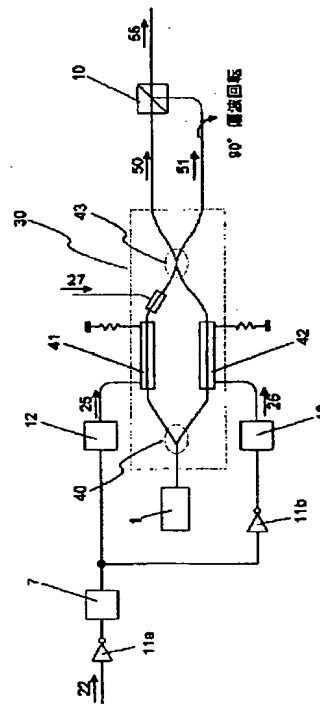
(74) 代理人 弁理士 堀 城之

(54) 【発明の名称】 光送信装置及び光送信方法

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、SPM+GVD効果によるこれまでの伝送限界を打破する光通信装置を提供する。

【解決手段】 出力光を偏波を90度回転させた後偏波合成することにより、強度が常に一定な変調信号光を得る。



30 : 強度変調器
40 : Y分岐
41, 42 : 位相変調セクション
43 : 3dBカプラ
50 : 干渉出力光1
51 : 干渉出力光2
55 : 出力光

1 : 半導体レーザー光源
7 : プリコダ
10 : PBS
11a, b : 偏波反転器
12, 13 : LPF
25, 26 : ティオハイナリ電気信号
27 : DCバイアス信号

【特許請求の範囲】

【請求項1】 入力された2値のデータ信号をデュオバイナリ信号に変換する符号変換手段と、

搬送波源と、

該搬送波源から出力される搬送波に、前記デュオバイナリ信号によって偏波変調および位相変調を与えるものであり、デュオバイナリ信号の3値を+1、0、-1と表記するとき、中央値0に対応する偏波と、デュオバイナリ信号の最大値+1および最小値-1に対応する偏波とが直交し、かつ最大値+1と最小値-1に対応する搬送波の位相が反転するように変調を行う光変調手段とを有することを特徴とする光送信装置。

【請求項2】 前記光変調手段は、前記中央値0に対応する偏波の信号光において、強度が0となるビットがあるたびに搬送波の位相が反転するように変調を行うことを特徴とする請求項1記載の光送信装置。

【請求項3】 入力された2値のデータ信号を、振幅が等しく極性が互いに逆転している1対の相補的なデュオバイナリ信号に変換する符号変換手段と、

搬送波源と、

該搬送波源から出力された搬送波を2つに分岐し、これら搬送波の位相を、前記符号変換手段により変換された前記1対の相補的なデュオバイナリ信号に応じてそれぞれ変化させ、合波して干渉させ、1対の相補的な干渉出力光を出力する強度変調素子と、

該強度変調素子から出力された前記1対の相補的な干渉出力光を互いに直交するように偏波合成する偏波合成手段とを有することを特徴とする光送信装置。

【請求項4】 前記強度変調素子は、前記1対の相補的な干渉出力光のどちらか一方に着目したとき、その強度が、前記強度変調素子自身の駆動信号であるデュオバイナリ信号のシンボルが、中央値の時、最小で、他の2値の時に最大であるようにし、かつ前記駆動信号の最大値と最小値に対応する出力搬送波の位相が互いに逆であるように変調することを特徴とする請求項3記載の光送信装置。

【請求項5】 入力された2値のデータ信号は2分岐され、この2分岐により分岐されたうちの一方のデータ信号である第1データ信号が入力され、該第1データ信号を1対の相補的な干渉出力光に変換して出力する光変調手段と、

他方のデータ信号である第2データ信号が入力され、該第2データ信号を符号変換して出力するプリコードと、前記プリコードにより変換され出力された前記第2データ信号と、前記1対の相補的な干渉出力光のうちの一方が入力され、この干渉出力光を前記第2データ信号に応じて位相変調する位相変調素子と、

前記位相変調素子の出力光と前記1対の相補的な干渉出力光のうち位相変調器を通さない方の光を、互いに直交するように偏波合成する偏波合成手段とを備えたことを

特徴とする光送信装置。

【請求項6】 前記光変調手段は、前記第1データ信号を、振幅が等しく極性が互いに逆転している1対の相補的なデュオバイナリ信号に変換する符号変換手段と、搬送波源と、

該搬送波源から出力された搬送波を2つに分岐し、これら搬送波の位相を、前記符号変換手段により変換された前記1対の相補的なデュオバイナリ信号に応じてそれぞれ変化させ、合波して干渉させ、1対の相補的な干渉出力光を出力する強度変調素子とを有し、

前記強度変調素子は、前記1対の相補的な干渉出力光のどちらか一方が、前記駆動信号が中央値の時、最小で、他の2値の時に最大であるようにし、かつ前記駆動信号の最大値と最小値に対応する出力搬送波の位相が互いに逆であるように変調するものであることを特徴とする請求項5に記載の光送信装置。

【請求項7】 前記プリコードは、前記第2データ信号が1の時には出力が変化せず、0の時には、出力が0から1へ、または1から0へと反転する、という変換規則のプリコードであることを特徴とする請求項5又は6に記載の光送信装置。

【請求項8】 前記位相変調素子は、前記プリコードにより変換され出力された前記第2データ信号と、前記1対の相補的な干渉出力光のうち二乗検波後に前記第1データ信号と符号の極性が反転している方の干渉出力光とが入力され、前記強度変調素子による強度変調のタイミングから0.5ビット遅れたタイミングで、前記干渉出力光に位相変調を行うものであることを特徴とする請求項5乃至7のいずれかに記載の光送信装置。

【請求項9】 搬送波源と、

入力された2値のデータ信号を2分岐して生成した第1データ信号に応じて、前記搬送波源からの搬送波を偏波変調する偏波変調素子と、前記2分岐して生成した第2データ信号を符号変換するプリコードと、

偏波変調された前記搬送波を、前記プリコードの出力信号に応じて位相変調する位相変調素子とを有することを特徴とする光送信装置。

【請求項10】 前記プリコードは、前記第2データ信号が1の時には出力が変化せず、0の時には出力が0から1へ、または1から0へと反転するという変換規則のプリコードであり、前記位相変調を、偏波変調タイミングから0.5ビット遅れたタイミングで行うことを特徴とする請求項9記載の光送信装置。

【請求項11】 前記第1データ信号の波形を変形させる波形変換手段を有し、該波形変換手段は、2値デジタルデータ信号が入力され、アイパターンクロスポイントが強度の中央値よりも高強度側に寄るように変形した2値のデータ信号を出力し、前記第1データ信号を前記波形変換手段によって変形させた後、前記偏波変調素子に入力することを特徴とする請求項9又は10に記載

載の光送信装置。

【請求項12】 前記波形変換手段は、入力されたデータ信号の振幅の最大値近傍で利得飽和を生じて出力信号は波形が歪むように設定した増幅器を有することを特徴とした請求項11に記載の光送信装置。

【請求項13】 前記波形変換手段は、ダイオードと反転器とを有することを特徴とした請求項11に記載の光送信装置。

【請求項14】 前記偏波変調素子のバイアスを、偏波分離後受信して得られる波形のアイパターンのクロスポイントが強度の中央値よりも高強度側に寄るように設定すること特徴とする請求項9乃至13のいずれかに記載の光送信装置。

【請求項15】 搬送波源と、前記搬送波を第一と第二の2つの直交偏波方向に分け、それらを各々位相変調して、再び偏波合成する手段と、2値データ信号が入力され、前記2つの位相変調素子への駆動信号を生成する駆動信号生成回路とを有することを特徴とするデュオバイナリ方式光送信装置。

【請求項16】 前記駆動信号生成回路は、入力されたデータ信号において0が2ビット連続した時には前記第一の偏波の搬送波に位相差 π を生じさせ、1が2ビット連続した時には前記第二の偏波の搬送波に位相差 π を生じさせ、どちらでもないときには、前記2つの偏波とも位相変調しないように、前記2つの位相変調素子を駆動する回路であることを特徴とする請求項15に記載の光送信装置。

【請求項17】 前記駆動信号生成回路は、前記駆動信号生成回路に入力されるデータ信号を2分岐して得た一方のデータ信号に応じて、前記第一の偏波の搬送波に位相差 π を生じさせ、前記2分岐して得たもう一方のデータ信号を1ビット遅延した信号に応じて、前記第二の偏波の搬送波に位相差 π を生じさせ、前記2つの位相変調素子を駆動する回路であることを特徴とする請求項15に記載の光送信装置。

【請求項18】 搬送波源と、該搬送波源から出力される搬送波を偏波変調する偏波変調素子とを有し、該偏波変調素子は、デュオバイナリ信号を変調素子駆動信号として入力する手段を備え、入力された前記デュオバイナリ信号に応じて前記搬送波の偏波を旋光能を用いて回転させるものであり、前記変調素子駆動信号が最大値および最小値の時に前記搬送波の位相が互いに逆であるように変調することを特徴とする光送信装置。

【請求項19】 入力された2値のデータ信号をデュオバイナリ信号に変換し、搬送波源から出力される搬送波に、前記デュオバイナリ信号によって偏波変調および位相変調を与え、デュオバイナリ信号の3値を+1、0、-1と表記するとき、中央値0に対応する偏波と、デュオバイナリ信号の最大値+1および最小値-1に対応する偏波とが直交し、かつ

最大値+1と最小値-1に対応する搬送波の位相が反転するように変調を行うことを特徴とする光送信方法。

【請求項20】 入力された2値のデータ信号を、振幅が等しく極性が互いに逆転している1対の相補的なデュオバイナリ信号に変換し、

搬送波源から出力された搬送波を2つに分岐し、これら搬送波の位相を、前記1対の相補的なデュオバイナリ信号に応じてそれぞれ変化させ、合波して干渉させ、1対の相補的な干渉出力光を出力し、

該1対の相補的な干渉出力光を互いに直交するように偏波合成することを特徴とする光送信方法。

【請求項21】 入力された2値のデータ信号は2分岐され、この2分岐により分岐されたうちの一方のデータ信号である第1データ信号が入力され、該第1データ信号を1対の相補的な干渉出力光に変換して出力し、

他方のデータ信号である第2データ信号が入力され、該第2データ信号を符号変換して出力し、

出力された前記第2データ信号に応じて、前記1対の相補的な干渉出力光のうちの一方の干渉出力光を位相変調し、

該位相変調された出力光と、前記1対の相補的な干渉出力光のうち位相変調器を通さない方の光を、互いに直交するように偏波合成することを特徴とする光送信方法。

【請求項22】 入力された2値のデータ信号を2分岐して生成した第1データ信号に応じて、搬送波源からの搬送波を偏波変調し、

前記2分岐して生成した第2データ信号を符号変換し、この符号変換された第2データ信号に応じて、偏波変調された前記搬送波を位相変調することを特徴とする光送信方法。

【請求項23】 搬送波源から出力された搬送波を第一と第二の2つの直交偏波方向に分け、それらを各々位相変調して再び偏波合成し、

2値データ信号を入力し、前記2つの位相変調素子への駆動信号を生成することを特徴とするデュオバイナリ方式光送信方法。

【請求項24】 搬送波源から出力される搬送波を偏波変調し、

この偏波変調は、デュオバイナリ信号を変調素子駆動信号とし、前記デュオバイナリ信号に応じて前記搬送波の偏波を旋光能を用いて回転させるものであり、前記変調素子駆動信号が最大値および最小値の時に前記搬送波の位相が互いに逆であるように変調することを特徴とする光送信方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、特に基幹系の光ファイバ伝送システムに用いられる光送信装置及び光送信方法に関する。

【0002】

【従来の技術】今日の光ファイバ通信システムでは、信号光の強度に情報を割り当て、光検出器で直接強度を検出する強度変調—直接検波方式が一般的に用いられており、さらに波長多重を用いて容量の拡大が行なわれるに至っている。この通信システムにおいては、光ファイバ中の波長分散(GVD:Group Velocity Dispersion)と、光ファイバ中で生じる非線形光学効果の一つの自己位相変調効果(SPM:Self Phase Modulation effect)が組み合わさって引き起こす、SPM+GVD効果と呼ばれる現象による波形歪みが伝送品質の主な劣化要因である。

【0003】GVDとは光ファイバを進行する速度が波長により異なる現象である。データ変調信号は信号スペクトルに幅を持つためGVDがあると波形歪みが生じる。今日では、GVDそれ自体は分散補償素子により補償可能となっているが、分散補償素子はコスト増加を招くため、GVDの影響を受けにくい変調信号の提案も行なわれている。一般に、信号スペクトル幅が狭いほどGVDの影響は小さいので、信号帯域を狭窄化することにより改善が期待できる。その手法の1つに光デュオバイナリ変調方式がある。(米永氏らによる特開H08-139681号公報や、K. Fukuchi et al., OFC '97 Technical Digest, ThH3, 1997など) デュオバイナリ(duobinary)信号は、パルシャルレスポンス(partial response)信号の1つに分類され、信号振幅の多値化と信号スペクトル幅の制限を理想的な形でこなしている信号として、電気通信の分野では古くからよく知られている。デュオバイナリ信号は3つの振幅値を持つが、光デュオバイナリ変調方式では、その3値を、単純に光強度の3値に割り当てるのではなく、光の位相変調も用いて、+1、0、-1、の3状態に割り当てる。ここで0は光強度が0である状態を、±1は強度は1だが光の位相が互いに反転している状態を表す。受信機ではこれを通常の直接検波するだけで、元の2値デジタル信号を再生することができる。ただし信号が光ファイバを伝搬している間は、帯域は圧縮されたままなのでGVDによる波形歪みが少ないという特長を有する。

【0004】一方の性能劣化要因であるSPMは信号光強度が時間に伴い変化するとそれに応じた位相変調が信号に印加される現象であり、従って強度変調方式では不可避なものである。光デュオバイナリ信号も信号光強度だけ見れば、通常の強度変調信号と大差なく、SPMは抑圧されない。SPMは、波形は変化させないが信号スペクトル帯域を増大させるため、波長多重の多重密度を制約してしまうほか、GVDと組み合わさって、SPM+GVD効果を起こす。

【0005】SPMを低減する通信方式の1つとして、偏波変調方式が提案されている。偏波変調方式とは、伝送する光の偏波状態に情報を割り当てる方式であり、信号光の強度包絡線が常に一定であるため、SPMが生じにくく、伝送劣化が少ないという特長を有する。偏波変調方

式を用いた2値デジタル通信装置の構成の従来技術には、例えば深谷氏による特開H01-208920がある。

【0006】問題のSPM+GVD効果とは、光ファイバ伝送中にGVDによる波形歪みと同時にSPMが生じて、単なる分散補償では波形が回復しなくなる現象である。回復が困難な理由は、波形に応じてSPMが生じると、信号光に周波数チャープ(chirp)が生じ、チャープはGVDを被ると余分な波形歪みを引き起こし、それがまた新たなSPMを呼ぶというように、SPMがない場合の波形歪みとは異なる波形歪みとなるためである。今日、1000km以上の長距離の光ファイバ伝送システムでは、このSPM+GVD効果が伝送距離を制約する主要因となっている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】従来の光デュオバイナリ信号は、GVDによる波形歪みが少ない分だけ有利であるがSPMに対しては効果がなく、一方、従来の偏波変調方式はSPMが生じにくい分だけ有利であるが、GVDに対しては効果がないため、SPM+GVD効果による伝送限界に対しては、どちらも大きな改善は得られないという問題があった。

【0008】本発明の目的は、両者の長所を兼ね合わせた信号を提供することにより、SPM+GVD効果によるこれまでの伝送限界を打破する光通信装置を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明では、上記課題を解決するため、入力された2値のデータ信号をデュオバイナリ信号に変換する符号変換手段と、搬送波源と、この搬送波源から出力される搬送波に、デュオバイナリ信号によって偏波変調および位相変調を与えるものであり、デュオバイナリ信号の3値を+1、0、-1と表記するとき、中央値0に対応する偏波と、デュオバイナリ信号の最大値+1および最小値-1に対応する偏波とが直交し、かつ最大値+1と最小値-1に対応する搬送波の位相が反転するように変調を行う光変調手段とを有することを特徴とする光送信装置及び係る光送信方法を提供することとした。また、上記課題は、入力された2値のデータ信号を、振幅が等しく極性が互いに逆転している1対の相補的なデュオバイナリ信号に変換する符号変換手段と、搬送波源と、この搬送波源から出力された搬送波を2つに分岐し、これら搬送波の位相を、符号変換手段により変換された1対の相補的なデュオバイナリ信号に応じてそれぞれ変化させ、合波して干渉させ、1対の相補的な干渉出力光を出力する強度変調素子と、この強度変調素子から出力された1対の相補的な干渉出力光を互いに直交するように偏波合成する偏波合成手段とを有することを特徴とする光送信装置及び係る光送信方法によっても解決することが出来る。また、入力された2値のデータ信号は2分岐され、この2分岐により分岐されたうちの一方のデータ信号である第1データ信号が入

力され、この第1データ信号を1対の相補的な干渉出力光に変換して出力する光変調手段と、他方のデータ信号である第2データ信号が入力され、この第2データ信号を符号変換して出力するプリコードと、プリコードにより変換され出力された第2データ信号と、1対の相補的な干渉出力光のうち一方が入力され、この干渉出力光を第2データ信号に応じて位相変調する位相変調素子と、位相変調素子の出力光と1対の相補的な干渉出力光のうち位相変調器を通さない方の光を、互いに直交するように偏波合成する偏波合成手段とを備えたことを特徴とする光送信装置及び係る光送信方法によっても解決することが出来る。また、搬送波源と、入力された2値のデータ信号を2分岐して生成した第1データ信号に応じて、搬送波源からの搬送波を偏波変調する偏波変調素子と、2分岐して生成した第2データ信号を符号変換するプリコードと、偏波変調された搬送波を、プリコードの出力信号に応じて位相変調する位相変調素子とを有することを特徴とする光送信装置及び係る光送信方法によっても解決することが出来る。また、搬送波源と、搬送波を第一と第二の2つの直交偏波方向に分け、それらを各々位相変調して、再び偏波合成する手段と、2値データ信号が入力され、2つの位相変調素子への駆動信号を生成する駆動信号生成回路とを有することを特徴とするデュオバイナリ方式光送信装置及び係る光送信方法によっても解決することが出来る。また、搬送波源と、この搬送波源から出力される搬送波を偏波変調する偏波変調素子とを有し、この偏波変調素子は、デュオバイナリ信号を変調素子駆動信号として入力する手段を備え、入力されたデュオバイナリ信号に応じて搬送波の偏波を旋光能を用いて回転させるものであり、変調素子駆動信号が最大値および最小値の時に搬送波の位相が互いに逆であるように変調することを特徴とする光送信装置及び係る光送信方法によっても解決することが出来る。

【0010】本発明ではデュオバイナリ電気信号の3値を、光の偏波変調も用いて、+1、p、-1、の3値に割り当てる変調方式を用いる。これら3状態で強度はどれも1であるが、±1は光の位相が互いに反転している状態、pは偏波が±1の状態とは直交している状態を表す。受信機ではこれを従来の偏波変調と同様に、例えば偏光ビームスプリッタなどを用いて偏波分離後に受信するだけで、元の2値デジタル信号が再生される。

【0011】この変調信号光は、信号が光ファイバ中を伝搬されている間、帯域が圧縮されているためGVDによる波形歪みが少なく、また、強度包絡線が一定なのでSPMの発生量も低減される。

【0012】なお、本発明において「～に応じて」とは、例えば、比例させる等、本発明を実施する上で好適なものを意味する。請求項4において「相補的なデュオバイナリ信号に応じてそれぞれ変化させ」とは、例えば、具体的には位相＝比例係数×信号振幅＋バイアスの一次式

で変化させる等、本発明を実施する上で好適な方法により変化させることを含む。また、請求項5、5、12においては例えば、「比例した位相変調をかける」という意味であり、請求項14においては「比例した偏波回転変調をかける」という意味である。

【0013】また、「中央値」とは、例えば、「+1、0、-1」の場合「0」であり、「他の2値」が「+1」と「-1」である。また、「0、+1、+2」の場合には、「中央値」が「+1」であり、「他の2値」が「0」と「+2」である。

【0014】また、「強度変調素子」としては、例えば、マッハツェンダー干渉計型強度変調器等、本発明を実施する上で好適なものをを用いることができる。

【0015】また、デュオバイナリ方式では、送信側もしくは受信側において符号変換が必要であり、特に符号誤りの伝播を防ぐために、送信側にて予め符号変換を行うプリコーディング(precoding)が必要であることは、よく知られており、本発明でもそれを適宜用いることができる。

【0016】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。

(第1の実施の形態)図1は、請求項4記載の発明を説明する第1の実施の形態の構成図である。本実施の形態は、プッシュプル駆動タイプのマッハツェンダー干渉計型強度変調器を用いた光デュオバイナリ変調方式を基本形としている。従来の光デュオバイナリ変調装置においては、干渉計で相補的に得られる2つの干渉出力光のうち一方を出力信号として利用し、反対側の干渉出力光は発散させていた。本実施の形態では発散させていた出力光を偏波を90度回転させた後偏波合成することにより、強度が常に一定な変調信号光を得る。

【0017】1.55μm帯で発振している半導体レーザ光源1(搬送波源)から出力された光は、偏波保持光ファイバによりその直線偏波状態を維持しながらプッシュプル(push-pull)駆動タイプのマッハツェンダー(Mach-Zehnder)干渉計型LiNbO3強度変調器30に導かれる。この変調器30で、入力光はまずY分岐40で2等分され、それらは位相変調セクション41、42でデュオバイナリ電気信号25、26に応じてそれぞれ位相変調を被り、その後、3dBカプラ43で合波され、干渉出力光50、51となる。変調器30は、これらを1つのLiNbO3基板に集積し、入出力に偏波保持ファイバビグテイルを接続したものである。

【0018】入力されたデジタルデータ電気信号22は、論理反転器11aで論理反転され、プリコード7(符号変換手段)でプリコードされたのち、2分岐されて、一方はそのまま低域濾波器(LPF:Low Pass Filter)12に入力されてデュオバイナリ信号25となり、もう一方は論理反転器(NOT)で論理を反転されたのちLPF

13に☐入力されてデュオバイナリ信号26となる。プリコード7の入出力の論理表を表1に、回路構成の一例を図4に示す。

【0019】

【表1】

b_{i-1}	a_i	b_i
0	0	0
	1	1
1	0	1
	1	0

【0020】LPF12, 13には、ビットレートの約1/4のカットオフ周波数を有する5次のベッセルトムソン型LPFを用いている。ここでプリコード7とLPF12は、いわゆるデュオバイナリ用プリコード（差動符号化器）と（1, 1）変換器としてよく知られたものであり、次の符号変換を行うものである。

【0021】入力信号系列： a_i

プリコード出力信号系列： $b_i = a_i \text{ (Ex-OR) } b_{i-1}$
（Ex-OR：排他的論理和）

（1, 1）変換器出力信号系列： $c_i = b_i + b_{i+1}$

【0022】これらには様々な実現形態が知られており、ここでは詳細な説明は省略する。論理反転器11bとLPF13の経路で生成される信号26は信号25の極性を反転した信号であり、信号25を極性反転して得てもよいが、アナログ信号である信号25を極性反転すると波形の劣化を招くおそれがあるため、このような経路で生成している。また反転器11は受信側の最終出力信号に置いてもよいことは言うまでもない。

【0023】変調器30で用いるアッシュプル駆動とは、マッハツェンダー干渉計の2つの光路で互いに逆の位相変調をかける駆動方式であって、その動作を図3に示す。この図では、DC成分を含まないデュオバイナリ電気信号の3つの振幅値をそれぞれ+1、0、-1と表記した時の、それら3値に対応する2つの干渉出力光50, 51の状態を図示している。デュオバイナリ信号25, 26の振幅とタイミングを描え、DCバイアス27を適切に設定することにより、この図にある対応の変調が行われる。細い矢印は干渉計の2つの光路からの出力光を表し、それらの合成ベクトルすなわち干渉出力光を太い矢印で模式的に表す。この図から、互いに相補的、つまり両者の和が常に1である2つの干渉出力光が理解される。ここで干渉出力光50と干渉出力光51の間の相対的な位相差は、簡単化のため無視している。

【0024】得られた出力光50と出力光51のうちどちらか一方の偏波保持ファイバビグテイルを90度ツイストし、偏光ビームスプリッタ（PBS: Polarization Beam Splitter）10（偏波合成手段）に導いて偏波合波す

ることにより、常に強度が一定の変調信号55が得られる。この信号光は光デュオバイナリ信号光成分と強度変調光成分の和であるため、完全なデュオバイナリ信号ではないが、受信の際は強度変調光成分を除去して、光デュオバイナリ信号光成分だけを取り出すので、問題はない。

【0025】この構成で5 Gb/sで光変調を行い、-1.5 ps/nm/kmのGVDを有する光ファイバとその中に40 km毎に配置された光増幅器と、240 km毎に配置された約20 km長の+17 ps/nm/kmのGVDを有する分散補償用光ファイバで構成された光伝送路で伝送実験を行った。ここで敢えて-1.5 ps/nm/kmという少量のGVDを有する伝送路を用いる理由は、GVDが完全に0となると、光増幅器で付加されるノイズ光と信号光が4光波混合光を生じ、伝送性能が制約されるおそれがあるためである。この実験系で、従来は、強度変調で約3,000 km、光デュオバイナリ変調および従来の偏波変調で各々約5,000 kmと、主にSPM+GVD効果により伝送距離が制限されていたが、本方式では約6,000 kmまで伝送可能距離が伸張され、本実施の形態の有効性が確認された。

【0026】（第2の実施の形態）第1の実施の形態においては、光デュオバイナリでない方の偏波の信号は単なる強度変調信号なので分散耐力に乏しい。もしこちらにも光デュオバイナリと同様に分散に対する波形変化が緩やかなになれば、SPM+GVD効果に対する耐力がより増強される。そこで、第2の実施の形態では、この信号の分散耐力を向上させるために、次のような位相変調を行う。

【0027】図2は、請求項5乃至請求項8記載の発明を説明する第2の実施の形態の構成図であり、図1と同一の部分の名称表記を一部省略している。

【0028】入力されたデジタルデータ電気信号22は、まず、2分岐され、第1データ信号と、第2データ信号とが生成される。

【0029】第1データ信号は光送信手段に入力され、光信号50, 51を生成するのに供される。光送信手段は第1の実施の形態に係る光送信装置と同一構成のものである。光信号51は位相変調素子15を通り、PBS10で偏波合成される。ここでは特に、光信号50を二乗検波後に☐入力信号22と同符号の系列が得られるように、DCバイアス27を調整している。図中、符号7aはプリコードである。

【0030】第2データ信号は、プリコード7bと移相器14とを介して位相変調素子15に入力される。プリコード7bは、第2データ信号を符号変換し、移送器14に送出する。位相変調素子15は、斯かる第2データ信号で駆動される。駆動信号のタイミングは、移相器14を用いて光信号51の強度変調のタイミングから0.5ビット遅延するように、すなわち、光強度が0のビットスロットの中央で位相が反転するように調整される。

【0031】本実施の形態の構成を別の観点でみると、前述の文献(K.Fukuchi et al., OFC '97 Technical Digest, ThH3, 1997)に記載されている、縦続接続された強度変調素子と位相変調素子を用いた光デュオバイナリ信号生成法を、強度変調信号51に適用して光デュオバイナリ信号化したものと言える。

【0032】この構成で第1の実施の形態と同様の伝送実験を行ったところ、従来は、最も長距離まで伝送可能な光デュオバイナリ変調および従来の偏波変調でも約5,000kmに制限されていたものが、本方式では約7,000kmまで伝送可能距離が伸張され、第2の実施の形態の有効性が確認された。

【0033】(第3の実施の形態)図5は、請求項9～請求項14の発明を説明する第3の実施の形態の構成図である。本実施の形態は、前述の文献(K.Fukuchi et al., OFC '97 Technical Digest, ThH3, 1997)にあるような、位相変調素子と強度変調素子を縦続接続した光デュオバイナリ変調方式を基本形としている。第3の実施の形態では従来のこの方式の強度変調素子を偏波変調素子に置換することにより、強度が一定な変調信号光を得る。本構成の長所としては、アナログ信号である3値デュオバイナリ電気信号を取り扱わず、2値のデジタル電気信号のみを取り扱えばよい、ということがある。

【0034】1.55 μ m帯で発振している半導体レーザ光源1から出力された光は、偏波保持光ファイバによりその直線偏波状態を維持しながらLiNbO3偏波変調素子2に導かれ、その出力光はLiNbO3位相変調素子3に導かれる。言うまでもなく、偏波変調素子2は、入力デジタル電気信号22の値[1, 0]に応じて互いに直交した偏波光を出力し、また、位相変調素子3は入力信号の値[1, 0]に応じてそれぞれ光位相を[π , 0](相対値)と変調する。偏波変調素子2には、位相変調素子に直線偏波光を斜め45度に入射する構成を用いている。

【0035】2値のデータ信号22を2分岐し、一方を偏波変調素子2に入力し、もう一方のデータ信号は反転器11aで論理反転された後プリコーダ7で符号化される。この符号化された2値データ信号を遅延器9で0.5ビット遅延させた後、位相変調素子3に入力する。ただし、この遅延器は偏波変調素子2から位相変調素子3への信号の伝播遅延時間なども考慮し、偏波変調に対して位相変調のタイミングが0.5ビット遅延となるように、すなわち偏波変調のビットスロットの中央で位相が切り替わるように調整してある。以上の構成で常に強度が一定の変調信号(出力光)56が得られる。なお本実施の形態では、光源から出た光はまず偏波変調され、その後位相変調されるという順序であるが、駆動信号のタイミングさえ適切であるならば、変調素子の接続順序は逆でも同様の結果が得られるのは言うまでもない。また極性反転器11aとプリコーダ7の位置に対して遅延器

9がどこに接続されても同様の結果が得られることも説明するまでもない。

【0036】なお、前述の文献(K.Fukuchi et al., OFC '97 Technical Digest, ThH3, 1997)にもあるように、この構成では、偏波変調の仕方を工夫するとさらに性能が向上する。本実施の形態では、偏波変調素子2に与えるDCバイアスを調整して、PBSで偏波分離後のアイパターンのクロスポイントが光強度が大きくなる方向に、変調素子の動作点をシフトした。バイアスをずらす量は、 $0.1 \sim 0.2 \times V_{\pi}$ 程度が適量であった。

【0037】この構成で第1の実施の形態と同様の伝送実験を行ったところ、従来は、最も長距離まで伝送可能な光デュオバイナリ変調および従来の偏波変調でも約5,000kmに制限されていたものが、本方式では約7,000kmまで伝送可能距離が伸張され、第3の実施の形態の有効性が確認された。

【0038】なお、第3の実施の形態では、偏波変調時の変調波形の変形を、偏波変調素子2のバイアス点をシフトさせて行ったわけだが、これは変調素子の駆動波形自体を図5のように変形させても同様の効果がえられることは言うまでもない。例えば、増幅器を利得飽和ぎみの動作条件で用いたり、ダイオードの非線形伝達特性を利用しても同様の波形を得ることができる。ダイオード特性を利用する場合、クロスポイントは下に(低強度側に)シフトするが、その場合は反転増幅器などを用いて極性を反転させればよい。

【0039】(第4の実施の形態)図6は、請求項15乃至請求項16の発明を説明する第4の実施の形態の構成図である。半導体レーザ光源1から出力された光は、偏波保持光ファイバによりその直線偏波状態を維持しながら第一の偏波変調素子4に導かれ、その出力光は第二の偏波変調素子5に導かれる。これらの位相変調素子は、その光軸(電界によって位相変調を被る偏波面の方向)に斜め45度に直線偏波光を入射する構成のものを用いており、結果として偏波変調素子として作用する。第一の位相変調素子4と第二の位相変調素子5の光軸は互いに直交させてある。

【0040】各々の位相変調素子の作用を図7で説明する。第一の位相変調素子の光軸をp、第二の位相変調素子の光軸をsとする。これらの位相変調素子への駆動信号が0の時、すなわち変調しないときの出力光57の偏波状態はp0である。各々の位相変調素子を駆動すると、p0ベクトルはp軸およびs軸へ射影したベクトルp0p、p0sに分解されて、各々、位相差 π を受け、再び合成したベクトルに変換される。例えば第一の位相変調素子がONの時($0p=1$)、p0pの向きは反対となり(p0pバー)、p0sとの合成の結果p1となり、初期偏波p0と直交した偏波となる。同様に、第二の位相変調素子がONの時($0s=1$)、p0sの向きが反対となり(p0sバー)、p0pとの合成の結果p-1となり、やは

り初期偏波 p_0 と直交した偏波となる。しかも p_1 と p_{-1} は偏波は同一だが位相が反転している。

【0041】これらの位相変調素子を駆動する信号23, 24は、まず第1の実施の形態で用いたのと同じ反転器11aとプリコーダ7によって2値のデジタル信号を符号変換し、その出力をさらに駆動信号生成回路8に入力して得られる。

【0042】駆動信号生成回路8では、プリコーダより出力された2値デジタル信号の現在の信号(b_i)と1ビット前の信号(b_{i-1})によって、例えば表2の真理値表と与えられる符号変換規則に基づいた駆動信号が生成される。

【0043】

【表2】

b_{i-1}	b_i	O_p	O_s	
0	0	1	0	P_1
	1	0	0	P_0
1	0	0	0	P_0
	1	0	1	P_{-1}

【0044】すなわち、0が2ビット連続した時には第一の位相変調素子4をON($O_p=1$)にし、1が2ビット連続した時には第二の位相変調素子5をON($O_s=1$)にする。どちらでもないときには、両方の位相変調素子とともにOFF($O_p=O_s=0$)にする。その実現回路例を図9、図10に示す。図10の構成においては、初段の(1, 1)交換によって得られた3値信号を、その後の識別器(D+FF)で識別して2値としている。それらの識別レベルは図11のように設定される。

【0045】ところで前述の真理値表2では、 b_i のマーク率が典型値である1/2の時、 O_s , O_p ともにそのマーク率が1/4となってしまう、駆動回路に優れた低域遮断特性が要求されるという欠点がある。そこで、 $b_{i-1}=0$, $b_i=1$ のとき、もしくは $b_{i-1}=1$, $b_i=0$ のときは、 O_s , O_p ともに1とすることを許すことにする。すると O_s , O_p ともにマーク率は1/2となってDCバランスがとれ、通常の駆動回路が使用可能となる。その場合の真理値表は、表3、表4となる。さらに位相差 π の位相変調においては駆動信号の極性を反転しても作用は同様であるから、結局「 $O_p=b_i$, $O_s=b_{i-1}$ 」もしくは「 $O_s=b_i$, $O_p=b_{i-1}$ 」の関係で変調すればよく、実現回路は至極単純となる。なお、 $O_s=O_p=1$ の場合、出力偏波は p_0 の位相が反転したもの(p_0 バー)となるが、受信側で p_0 と p_0 バーは同一視するので問題なく元の符号が復元される。以上の構成で常に強度が一定の変調信号57が得られる。

【0046】

【表3】

b_{i-1}	b_i	O_p	O_s	
0	0	1	0	P_1
	1	0	0	P_0
1	0	1	1	$\overline{P_0}$
	1	0	1	P_{-1}

$$= \begin{cases} O_p = \overline{b_i} \\ O_s = b_{i-1} \end{cases}$$

【0047】

【表4】

b_{i-1}	b_i	O_p	O_s	
0	0	1	0	P_1
	1	1	1	$\overline{P_0}$
1	0	0	0	P_0
	1	0	1	P_{-1}

$$= \begin{cases} O_p = \overline{b_{i-1}} \\ O_s = b_i \end{cases}$$

【0048】この構成で第1の実施の形態と同様の伝送実験を行ったところ、従来は、最も長距離まで伝送可能だった変調方式でも約5,000 kmに制限されていたものが、本方式では約8,000 kmまで伝送可能距離が伸張され、第4の実施の形態の有効性が確認された。

【0049】図12及び図13は、第4の実施の形態と全く同じ構成を、一見異なるように見える部材を用いて構成した例である。図12は、光源から出た光をPBSで2つの偏波に分波し、各々位相変調し、それらを偏波合成する構成である。実施の形態3では同一の空間を伝播している直交する2偏波の搬送波が、この構成では一部別々の空間を伝播している。この構成では分波PBSから合波PBSまでの光路長を波長オーダーで維持する必要があり、実用化には集積化が必須となる。図13は電気光学効果(ポッケルス効果)を持つ物質の直交した2方向に独立に電界を印加できるように電極を配置したもので、実施の形態3の位相変調器を1つにまとめてしまったものとみなせるものである。この場合、位相変調器を進行波型とすることが難しくなり、集中定数型となってしまうため、動作速度を高められない懸念がある。なお、図13どちらの構成においても、位相変調器の駆動信号は、実施の形態3と同様であることは言うまでもない。

【0050】なお、駆動信号生成回路を、入力されるデータ信号を2分岐して得た一方のデータ信号に応じて、第一の偏波の搬送波に位相差 π を生じさせ、2分岐して

得たもう一方のデータ信号を1ビット遅延した信号に応じて、第二の偏波の搬送波に位相差 π を生じさせ、2つの位相変調素子を駆動する回路とすれば、部品点数が少なく、必要な信号処理もわずかなので、生産コストを低減し、信頼性を向上させることができる。

【0051】(第5の実施の形態)図14は、請求項18の発明を説明する第5の実施の形態の構成図である。本実施の形態では、偏波を変調する素子として特に旋光子(rotator)を用いる。電気信号によって旋光の角度を変調する手段として、本実施の形態ではファラデー(Faraday)効果を用いる。その変調素子をここではファラデー素子と表記する。

【0052】半導体レーザ光源1から出力された光は、偏波保持光ファイバによりその直線偏波状態を維持しながらファラデー素子6まで導かれる。ここで、このファラデー素子6によって生じる旋光角 δ を、デュオバイナリ電気信号の3値が $\delta=0, \pi/2, \pi$ 、の3状態に割り当てられるように駆動する。ここで $\delta=0$ と $\delta=\pi$ では偏波状態は同じであるが、搬送波源1からの搬送波の位相が反転しており、 $\delta=0$ と $\delta=\pi/2$ では偏波が直交していることに注意を要する。

【0053】以上により、光デュオバイナリ信号と同様な信号スペクトルを持ちつつ、強度が一定な変調信号光(出力光)58を得ることができた。

【0054】この構成で第1の実施の形態と同様の伝送実験を行ったところ、本方式では約7,000 kmまで伝送可能距離が伸張され、第5の実施の形態の有効性が確認された。

【0055】なお、以上の実施の形態では、位相変調器、偏波変調器として、LiNbO₃変調器、ファラデー素子を用いたが、これに限定されるものではなく、信号速度程度に位相変調、偏波変調がかかるデバイスであれば、その材質は半導体、有機物、無機物、光ファイバなどでもよく、方式は電気式、磁気的、機械式、光学的などでもよい。位相変調器として、マッハツェンダー干渉計型光強度変調器のプッシュプル駆動方式のものを用いてもよい。

【0056】また、以上の実施の形態中でプリコーダの回路例をいくつか示したが、もちろんこれらに限定されるものではなく、その他の論理回路の組み合わせや、アナログ回路でも同等の機能が実現できうることは言うまでもない。

【0057】また、以上の実施の形態においては、デュオバイナリ信号の3値を+1、p、-1、の3値にマッピングする際、pの前後でpと直交した偏波の搬送波の位相反転を必ず行っていたが、pが連続する場合、pと直交した偏波の搬送波は出力されないもので、その場合は位相反転を省略しても構わないことは言うまでもない。

【0058】

【発明の効果】以上に述べたように、本発明の構成を用

いることにより、帯域が圧縮されているためGVDによる波形歪みが少なく、また強度包絡線が一定なのでSPMの発生量が低減される。

【0059】その結果、デュオバイナリ信号の狭帯域という特質と偏波変調の強度包絡線が常に一定という特質を合わせ持った信号を得ることができ、SPM+GVD効果による伝送限界を改善できる。

【0060】また、偏波変調を用いているため、光増幅器が多段に接続された光ファイバ伝送路で問題となっている入射偏波に依存した増幅率の変化(偏波ホールバーニング)などの影響も抑圧できるという特徴も兼ね備えている。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施の形態の構成説明図である。

【図2】第2の実施の形態の構成説明図である。

【図3】第1の実施の形態における2つの干渉光の状態説明図である。

【図4】プリコーダの一例を示す回路図である。

【図5】第3の実施の形態の構成説明図である。

【図6】波形変換の例。

【図7】第4の実施の形態の構成説明図である。

【図8】第4の実施の形態における偏波変調動作の説明図である。

【図9】駆動信号生成回路の一例を示す回路図である。

【図10】駆動信号生成回路の一例を示す回路図である。

【図11】閾値の設定説明図である。

【図12】第4の実施の形態の別の実現構成の説明図である。

【図13】第4の実施の形態の別の実現構成の説明図である。

【図14】第5の実施の形態の構成説明図である。

【符号の説明】

1 半導体レーザ光源(搬送波源)

2 偏波変調素子

3 位相変調素子

6 ファラディ素子

7、7a、7b プリコーダ(符号変換手段)

9 0.5ビット遅延器

10 PBS(偏波合成手段)

11a、11b 論理反転器

12、13 LPF

14 位相器

15 位相変調素子

22 デジタル電気信号

25、26 デュオバイナリ電気信号

27 DCバイアス信号

30 強度変調器(強度変調素子)

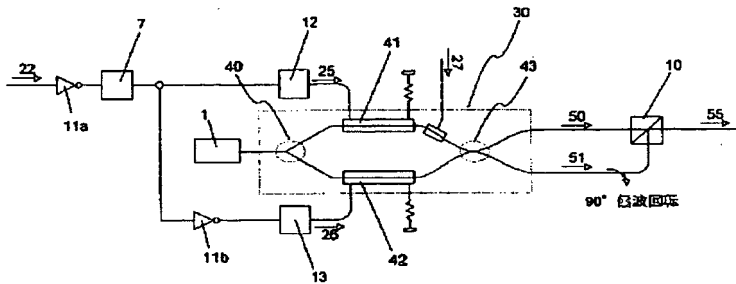
40 Y分岐

41、42 位相変調セクション

43 3dBカプラ
50 干渉出力光1
51 干渉出力光2

55 出力光
58 変調信号光(出力光)

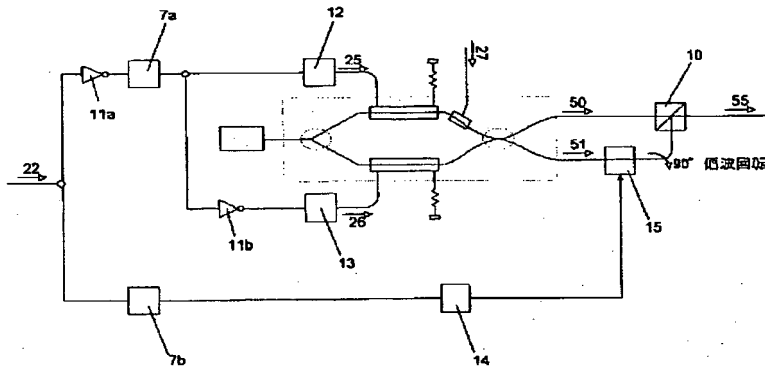
【図1】



1 : 半導体レーザ光源
7 : プリコーダ
10 : PBS
11 a, b : 遅延反転器
12, 13 : LPF
25, 26 : デュオバイナリ電気信号
27 : DCバイアス信号

30 : 強度変調器
40 : Y分岐
41, 42 : 位相変調セクション
43 : 3dBカプラ
50 : 干渉出力光1
51 : 干渉出力光2
55 : 出力光

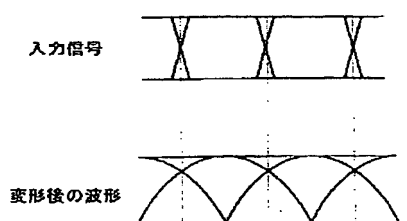
【図2】



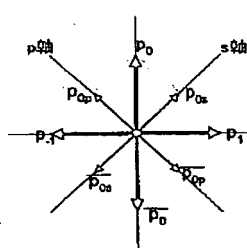
11 a, b : 遅延反転器
12, 13 : LPF
14 : 移相器
15 : 位相変調素子
25, 26 : デュオバイナリ電気信号
27 : DCバイアス信号

30 : 強度変調器
50 : 干渉出力光1
51 : 干渉出力光2
55 : 出力光

【図6】



【図8】

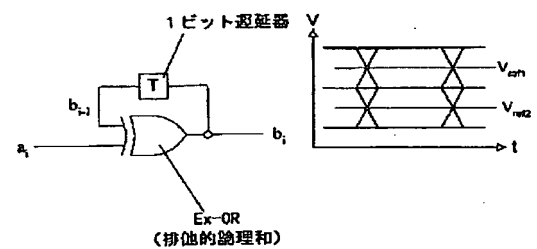


【図3】

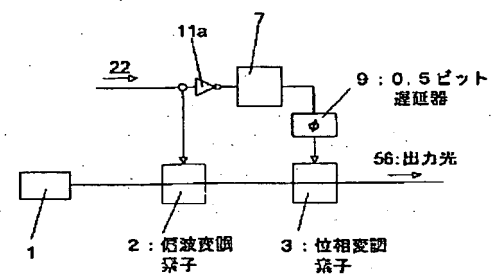
入力電気信号	+1	0	-1
出力光1 (50)			
出力光2 (51)			
	+1	0	-1
	0	1	0

【図4】

【図11】

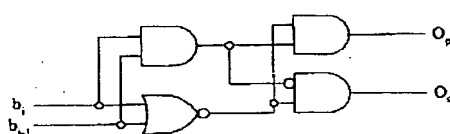


【図5】

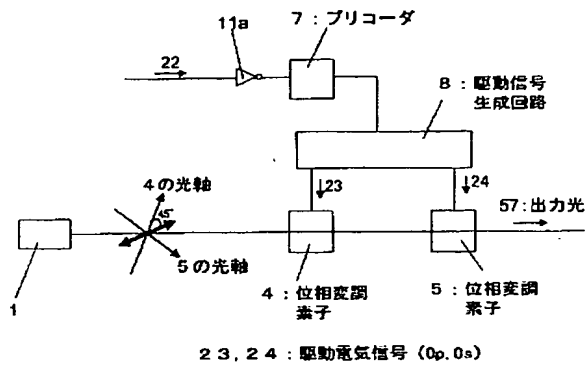


22 : デジタル電気信号

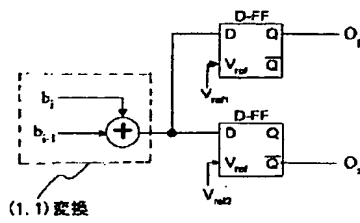
【図9】



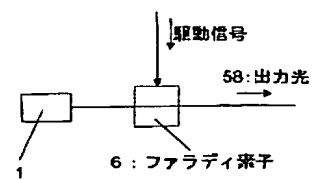
【図7】



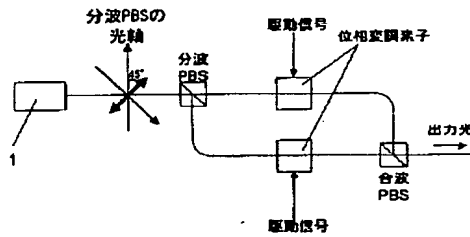
【図10】



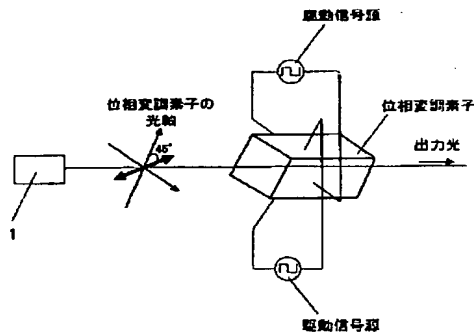
【図14】



【図12】



【図13】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁶

H04B 10/06

識別記号

F I

THIS PAGE BLANK (USPTO)